

Oponentní posudek doktorské disertační práce

Ing. Michala Krále

NÁVRH METODIKY PRO PREDIKCI POKLESU TUHOSTI ÚNAVOVĚ ZATĚŽOVANÝCH KOMPOZITNÍCH KONSTRUKCÍ

a) Dosažení stanovených cílů disertační práce

Předložená disertační práce je zaměřena do oblasti experimentálního a výpočtového řešení úlohy predikce poklesu tuhosti únavově zatěžovaných kompozitních konstrukcí. Hlavním cílem disertační práce bylo navrhnout metodiku pro predikci poklesu tuhosti únavově zatěžovaných kompozitních konstrukcí. Tento cíl byl složen ze tří dílčích cílů. Nejprve vypracovat a verifikovat postupy pro experimentální stanovení vybraných mechanických charakteristik kompozitu, dále navrhnout model pro predikci poklesu tuhosti při únavovém zatěžování a nakonec provést verifikaci navržené metodiky pomocí vhodně navržených experimentálních měření a numerických simulací. K dosažení těchto cílů bylo nutno provést velké množství experimentů a numerických simulací. Lze konstatovat, že cíle stanovené v disertační práci splněny.

b) Úroveň rozboru současného stavu dané problematiky

Rozboru současného stavu dané problematiky je věnována druhá kapitola obsahující 26 stran. Autor se zaměřuje nejprve na problematiku únavového poškození vláknových kompozitů a pak podrobně uvádí a analyzuje modely predikce životnosti kompozitních materiálů. Dále věnuje pozornost experimentálnímu stanovení materiálových charakteristik. Zde uvádí přehled normalizovaných postupů pro měření únavových charakteristik kompozitních materiálů a zmiňuje omezení, či doporučení, která je třeba při experimentech dodržovat. Pro rozbor současného stavu dané problematiky použil autor dostatečné množství pramenů. Důležité je, že jsou zde použity též odkazy pocházející z poslední doby. Tato kapitola je napsána jasně a srozumitelně a je z ní zřejmé, že se autor touto problematikou delší dobu intenzivně zabývá a dobře se v ní orientuje.

c) Teoretický přínos disertační práce

Přestože má práce z převážné části aplikační charakter, obsahuje rovněž teoretické přínosy. Za hlavní lze považovat vytvoření modelu poklesu tuhosti kompozitního materiálu. Důležité je, že zde není řešen pokles tuhosti homogenizovaného kontinua, ale pokles tuhosti jednotlivých lamin, což více odpovídá realitě. Při návrhu modelu vyšel autor z tříparametrického modelu, který formulovali Liu a Lessard. Bylo zjištěno, že tento model nepredikuje správně pokles tuhosti při různých hladinách zatížení. Proto autor tento model modifikoval a navrhl pětparametrický model, který nazval VZLU FDC Model. Tento model je schopen s velmi dobrou přesností predikovat pokles tuhosti na různých hladinách zatížení. Za významné lze rovněž považovat postup, jak efektivně stanovit koeficienty modelu poklesu tuhosti s využitím experimentálně stanovených poklesů tuhosti při dvou hladinách zatížení. Autor také zjistil, že významnou roli při únavovém zatěžování kompozitních materiálů hraje změna tuhosti matrice, která není ve většině publikovaných prací uvažována.

d) Praktický přínos práce

Lze konstatovat, že všechny práce věnující se degradaci mechanických vlastností kompozitních materiálů vlivem cyklického namáhání a dosahující nová zjištění, jsou pro praxi velmi významná.

Za velký přínos lze považovat, že navržený a experimentálně ověřený postup stanovení poklesu tuhosti kompozitního materiálu je možno poměrně snadno aplikovat v praxi. Důležité je, že navržený přístup je posuzován částečně z hlediska statistiky. Pro praxi je rovněž významné, že matematický model byl implementován do MKP softwaru, pomocí kterého je možno také sledovat redistribuci napětí v konstrukci během degradace tuhosti. V práci je rovněž podrobně uveden postup jak provádět experimenty a jak stanovovat pět parametrů pro model poklesu tuhosti materiálu.

Domnívám se, že výsledky předložené disertační práce najdou uplatnění ve firmách, které se věnují výrobě komponent pro letecký, dopravní a vesmírný průmysl.

e) Vhodnost použitých metod řešení a jejich aplikace

V práci jsou použity numerické a experimentální přístupy. Tato kombinace je pro dosažení reálných výsledků v dané oblasti důležitá. Při aplikaci experimentálních přístupů byly použity jak normy pro stanovení základních únavových materiálových charakteristik tak nenormované přístupy, s kterými má autor určité zkušenosti. Matematický model byl vytvořen tak, že byl na základě analýz modifikován Liuův a Lessardův model. Pro numerické simulace byla použita metoda konečných prvků. Lze

konstatovat, že pro řešení dané problematiky byly uvedené metody a přístupy použity správně.

f) Formální úroveň práce

Po formální stránce je práce v pořádku. Je napsána kultivovanou češtinou, přehledně a v logickém sledu. Obrázky jsou čitelné, seznam zkratk rovněž usnadní lepší orientaci v textu. Překlepů nebo formálních chyb je minimum.

Formální připomínky:

Pouze pár drobných připomínek.

- Na základě zákona č. 137/2016 Sb., který mění a doplňuje VŠ zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách byl název školitel specialista nahrazen termínem konzultant-specialista.
- Na straně 20 pod Tab. 2.2 je uveden pojem poměrná deformace. Správně by mělo být poměrné prodloužení.
- Na straně 21 je uveden pojem smyková deformace. Pro tuto veličinu se uvádí název zkso.
- Na straně 62 je třikrát použit výraz „DMA analýza“, přičemž DMA je zkratka Dynamická mechanická analýza.

Dotazy:

1. Uvedená metodika stanovení zbytkové tuhosti je aplikována na vrstvy tvaru textlie sklo/epoxid. V praxi se velmi často používají lamináty vyrobené z jednosměrových prepregů uhlík/epoxid. Zde se jedná o laminy, které mají na rozdíl od zde uvedených tkanin výrazně jiné mechanické vlastnosti v podélném a příčném směru. Lze model VZLU FDC Model a uvedenou metodiku použít také pro tyto kompozit?
2. Kapitola 7.3 má název Únavová ohybová zkouška prostě podepřeného nosníku .. Jedná se skutečně o prostě podepřený nosník? Jak je v tomto případě zabráněno případnému posunutí ve vodorovném směru při cyklickém namáhání?
3. Na straně 103, obr. 7.10 je znázorněn pokles normované tuhosti vzorku. Při nízkém počtu cyklů (500) má výraznější pokles tuhosti numerický model a od 10 000 cyklů experiment. Máte pro tento jev nějaké vysvětlení?
4. Na obr. 7.25 je uvedena závislost ohybové tuhosti na dvou hladinách zatížení. Měření bylo ukončeno na hodnotě 100 000 cyklů. Z jakého důvodu? Předchozí měření byla provedena pro daleko větší počet cyklů. Dokážete predikovat změnu tuhosti v tomto případě při větším počtu cyklů?
5. Máte nějaké vysvětlení pro růst tuhosti matrice? Týká se to pouze vaší konkrétní matrice nebo máte tuto zkušenost i jiným typem?

Vyjádření oponenta

Práce Ing. Michala Krále představuje významný přínos v oblasti predikce poklesu tuhosti únavově zatěžovaných kompozitních materiálů. Předložená práce obsahuje velké množství experimentálně získaných dat, s kterými dokáže autor efektivně pracovat. V předložené práci prokázal vysoké odborné znalosti v oblasti mechaniky kompozitních materiálů, experimentálních metod a numerických simulací. Práce je napsána srozumitelně a jasně. Z předložené práce je zřejmé, že autor má nejen velmi dobré znalosti v daném oboru, ale je schopen provádět důležité analýzy a vyvodit z nich potřebné závěry. Publikáční činnost autora je velmi dobrá. Cíle disertační práce byly v celém rozsahu splněny. Vzhledem k výše uvedenému **doporučuji práci k obhajobě** a po jejím úspěšném proběhnutí udělit titul

„ doktor “

V Plzni, dne 18. 2. 2019

Prof. Ing. Vladislav Laš, CSc.